

# IZOLACYJNOŚĆ SZYB ZESPOLONYCH –TERAŻNIEJSZOŚĆ I PRZYSZŁOŚĆ

## *INSULATING GLASS UNITS – PRESENT AND FUTURE*

ANNA BALON-WRÓBEL  
AGNIESZKA MARCZEWSKA

INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W KRAKOWIE  
ODDZIAŁ SZKŁA I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

### **STRESZCZENIE**

Szyby zespolone stanowią materiał budowlany, który w znacznym stopniu wpływa na efektywność energetyczną budynku. Istotną właściwość przezroczystych przegród, jaką jest izolacyjność cieplna, wyrażana jest przez współczynnik przenikania ciepła. Na jego wartość wpływają czynniki omówione w niniejszym rozdziale. W tekście zaprezentowano również różnorodność stosowanych szkieł składowych wpływających na bilans energetyczny całego budynku. Przedstawiono nową generację szyb zespolonych, ich właściwości oraz szerokie zastosowanie. Podkreślono, iż dzięki swoim zaletom mogą w przyszłości zastąpić tradycyjne szyby zespolone.

### **ABSTRACT**

Insulating glass units are the building material, which has a significant impact on the energy efficiency of the building. An important characteristic of transparent partitions as is the thermal insulation, expressed by the thermal transmittance, whose value is influenced by factors discussed in this article. The paper also presents the diversity of glass components affecting the energy balance of the whole building. Presented a new generation of insulating glass units, their properties and wide application. Thanks to their advantages they may replace traditional glazing in the future.

## **6.1. Wprowadzenie**

Problemy zmniejszania się zasobów energetycznych oraz ograniczenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery przyczyniły się do rozwoju budownictwa pasywnego. W energooszczędnym budownictwie jednym z ważniejszych materiałów budowlanych są szyby zespolone. Historia ich stosowania w naszym kraju sięga początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. W miarę rozwoju produkcji oraz wprowadzania coraz nowszych technologii, współczesne szyby zespolone okazały się materiałem wysoce energooszczędnym. Trwające wciąż prace nad doskonaleniem technologii szyb zespolonych przyczyniają się do wprowadzenia na rynek budowlany wyrobów, których technologia produkcji odbiega od metod stosowanych wcześniej. Zainteresowania badawcze w zakresie technologii szyb zespolonych zmierzają przede wszystkim w kierunku uzyskania jak najlepszych parametrów izolacyjności cieplnej.

## **6.2. Izolacyjność cieplna szyb zespolonych**

Izolacyjna szyba zespolona stanowi zespół składający się co najmniej z dwóch tafli szkła, oddzielonych jedną lub kilkoma ramkami dystansowymi, hermetycznie uszczelniony wzdłuż obrzeża, mechanicznie stabilny i trwały [1].

Jedną z głównych właściwości szyb zespolonych jest izolacyjność cieplna, wyrażana przez współczynnik przenikania ciepła  $U$ . Jest to parametr, który charakteryzuje przenikanie ciepła przez centralną część oszklenia, bez uwzględnienia efektów brzegowych. Określa on stosunek gęstości ustalonego przenikania ciepła do różnicy temperatur środowiska z każdej strony oszklenia, wyrażony w  $W/(m^2 \cdot K)$  [2]. Izolacyjność cieplna jest tym lepsza, im wartość współczynnika  $U$  jest niższa.

W zależności od budowy szyby zespolonej, współczynnik przenikania ciepła  $U$  może uzyskiwać wartości w granicach 0,4-2,6 W/(m<sup>2</sup>·K). Na izolacyjność cieplną wpływa wiele czynników:

- rodzaj szkła,
- rodzaj medium gazowego
- ilość medium gazowego w przestrzeni międzyszybowej,
- ilość przestrzeni międzyszybowych,
- szerokość przestrzeni międzyszybowych.

### 6.2.1 Metody określające wartość współczynnika przenikania ciepła $U$

Jednym z czynników wpływających na bilans cieplny budynku jest wartość współczynnika przenikania ciepła  $U$  szyb zespolonych. Można ją określić, stosując metodę badawczą i metodę obliczeniową lub tylko jedną z nich.

Powszechnie stosowane są dwie metody badawcze – metoda osłoniętej płyty grzejnej oraz metoda pomiaru przepływu ciepła miernikiem.

W Zakładzie Technologii Szkła Oddziału Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych wartość współczynnika  $U$  wyznaczana jest metodą opisaną w PN-EN 674:2011 [2]. Badanie to wykonywane jest na stanowisku wyposażonym w podwójną płytę grzejną i polega na doświadczalnym określeniu oporności cieplnej badanych szyb zespolonych, a następnie na obliczeniu wartości współczynnika  $U$ .

Badane szyby umieszcza się parami, symetrycznie, z obu stron płyty grzejnej o wymiarach 500 x 500 mm. Odbiór ciepła odbywa się poprzez dwie płyty chłodzące, usytuowane na zewnątrz badanych szyb. Korzystając z danych zawartych w PN-EN 674:2011 [2], oblicza się wartość współczynnika przenikania ciepła  $U$ .

W Zakładzie Technologii Szkła wykonuje się również obliczenia wartości współczynnika  $U$  przy użyciu programu opracowanego na podstawie PN-EN 673:2011 [3].

Do obliczeń wymagana jest znajomość budowy szyby zespolonej – ilość i grubość tafli szkła, wartość współczynnika emisyjności w przypadku zastosowania szkła niskoemisyjnego, ilość i szerokość ramki dystansowej oraz rodzaj gazu i stopień wypełnienia przestrzeni międzyszybowej.

### 6.2.2. Rodzaj szkła

W obecnie produkowanych szybach zespolonych stosowane są szkła charakteryzujące się różnymi właściwościami. Do rzadkości należą zespolenia, które zbudowane są jedynie z nieprzetworzonego szkła *float*. Biorąc pod uwagę zastosowanie szyb zespolonych w budownictwie pasywnym, należy zwrócić uwagę na to, iż powszechnie stosowane są szkła z powłokami niskoemisyjnymi oraz szkła z powłokami refleksyjnymi.

Szkło niskoemisyjne charakteryzuje się zdolnością do odbijania promieniowania cieplnego oraz umożliwia przedostanie się do pomieszczenia promieniowania słonecznego. Długofalowe promieniowanie cieplne, emitowane m.in. przez urządzenia grzejne, odbijane jest od szkła niskoemisyjnego i pozostaje w pomieszczeniu. Krótkofalowe promieniowanie słoneczne przedostaje się poprzez powłokę do budynku, gdzie zostaje pochłonięte przez jego powierzchnię i wypromieniowane do pomieszczenia w postaci promieniowania długofalowego, które odbijane jest przez powłokę z powrotem do wnętrza pomieszczenia.

Szkło refleksyjne charakteryzuje się zdolnością do odbijania znacznej części krótkofalowego promieniowania słonecznego, dzięki czemu pomieszczenie chronione jest przed przegrzaniem.

Zastosowanie w zespoleniu produkowanych obecnie szkieł niskoemisyjnych w znacznym stopniu wpływa na zmniejszenie strat ciepła. Szkła refleksyjne zapobiegają z kolei zbyt niemu nagrzewaniu się pomieszczeń w porze letniej.

Tego typu szyby zespolone znajdują zastosowanie głównie w budynkach mieszkalnych czy też biurowych.

### 6.2.3. Medium gazowe

W obecnie produkowanych szybach zespolonych w przestrzeń międzyszybową, zamiast powietrza, wprowadzane jest medium gazowe w celu poprawy parametrów cieplnych. Wprowadzany gaz charakteryzuje się niższą od powietrza przewodnością cieplną, dzięki czemu wpływa korzystnie na

izolacyjność cieplną. Warunek ten spełniają gazy szlachetne (argon, krypton, ksenon). Najczęściej stosowany jest argon. W tabeli 6.1 przedstawiono wpływ zawartości argonu na wartość współczynnika  $U$  (gdzie  $\varepsilon$  jest współczynnikiem emisyjności).

Argon [%]	Współczynnik $U^*$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]
0	1,3
30	1,3
50	1,2
70	1,2
90	1,1

\*obliczenia własne według PN-EN 673:2011,  $\varepsilon = 0,031$

Tab. 6.1. Wpływ zawartości argonu na wartość współczynnika „ $U$ ” szyby zespolonej 4Float/16/4Thermofloat

Wraz ze wzrostem zawartości argonu w przestrzeni międzyszybowej wartość współczynnika  $U$  maleje, a izolacyjność cieplna wzrasta. Przy zawartości argonu wynoszącego 90% dla szyby 4Float/16/4Thermofloat współczynnik  $U$  osiąga wartość nawet 1,1 W/(m<sup>2</sup> · K).

#### 6.2.4. Ilość i szerokość przestrzeni międzyszybowych

Kolejnym czynnikiem wpływającym na parametry cieplne szyb zespolonych jest ilość przestrzeni międzyszybowych. Obecnie powszechnie stosowane są szyby zespolone zbudowane z dwóch tafli szkła i jednej przestrzeni międzyszybowej. Są to tak zwane szyby zespolone jednokomorowe. Coraz częściej znajdują jednak zastosowanie również zespolenia wielokomorowe, głównie dwukomorowe, czyli szyby posiadające dwie przestrzenie międzyszybowe. Wynika to z faktu, że izolacyjność cieplna szyby zespolonej zależy od ilości przestrzeni międzyszybowych, co przedstawiono w tabeli 6.2.

Rodzaj	Budowa	Współczynnik $U^*$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]
1-komorowe	4Float/16Ar/4 Thermofloat	1,1
2-komorowe	4Thermofloat/16Ar/4/16Ar/4Thermofloat	0,6
3-komorowe	4Thermofloat/16Ar/4Thermofloat/16Ar/4/16Ar/4Thermofloat	0,4

\*obliczenia własne według PN-EN 673:2011,  $\varepsilon = 0,031$ , argon = 90%

Tab. 6.2. Wpływ budowy szyby zespolonej na wartość współczynnika „ $U$ ”

Zwiększenie ilości przestrzeni międzyszybowych znacząco wpływa na obniżenie współczynnika  $U$ . Dla szyb trójkomorowych może on wynosić nawet 0,4 W/(m<sup>2</sup> · K), co oznacza doskonałą izolacyjność cieplną.

Istotną rolę w szybie zespolonej odgrywa również szerokość przestrzeni międzyszybowych, którą zapewniają ramki dystansowe. Zobrazowano to w tabeli 6.3.

Budowa	Współczynnik $U^*$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]
szyby 1 – komorowe	
4Float/12Ar/4 Thermofloat	1,3
4Float/16Ar/4Thermofloat	1,1
4Float/24Ar/4Thermofloat	1,2
szyby 2 – komorowe	
4Thermofloat/12Ar/4/12Ar/4Thermofloat	0,7
4Thermofloat /16Ar/4/16Ar/4Thermofloat	0,6
4Thermofloat /24Ar/4/24Ar/4Thermofloat	0,5

\*obliczenia własne według PN-EN 673:2011,  $\varepsilon = 0,031$ , argon = 90%

Tab. 6.3. Wpływ szerokości ramki dystansowej na wartość współczynnika „ $U$ ”

Odstępy między szybami, uwarunkowane szerokością ramki dystansowej, znacząco determinują wartość współczynnika  $U$ , powodując z reguły wzrost izolacyjności cieplnej wraz ze zwiększeniem odległości pomiędzy szybami.

### **6.3. Rodzaje szyb zespolonych produkowanych obecnie**

Specyfika budowy szyby zespolonej, stanowiącej szklaną przegrodę zewnętrzną budynku, wpływa na szerokie zastosowanie tego wyrobu. Jest to związane z możliwością użycia w szybie zespolonej różnych szkieł, które charakteryzują się zróżnicowanymi właściwościami.

Szyby zespolone w przeszkleniach stosowanych w budownictwie mają do spełnienia wiele zadań. W zależności od funkcji, miejsca wbudowania, wymagań stawianych przez odbiorcę, priorytetem mogą być różne jej własności, ale największy nacisk kładzie się obecnie na energooszczędność.

Komfort termiczny wewnątrz pomieszczenia zapewniony jest dzięki zastosowaniu odpowiedniego szkła, gdyż szyby zespolone stanowią barierę dla oddziaływania środowiska zewnętrznego na budynek. Te szklane przegrody z jednej strony pozwalają na uzyskanie energii słonecznej z zewnątrz, ale mogą też stanowić dla niej barierę. Już na etapie projektowania powinny być określone parametry cieplne wymagane dla pomieszczeń.

#### **6.3.1. Szyby zespolone ciepłochronne**

Zastosowanie szkieł z powłokami niskoemisyjnymi w szybie zespolonej stanowi skuteczną ochronę wnętrza budynku przed przenikaniem ciepła w stronę otoczenia o niższej temperaturze. Cienka i często niewidoczna dla oka warstwa napyłona na szkło bazowe, czyli szkło *float*, przepuszcza światło i energię słoneczną do wnętrza, uniemożliwiając przenikanie ciepła na zewnątrz. Dzieje się tak dzięki zdolności szkła z powłokami niskoemisyjnymi do odbijania promieniowania podczerwonego i wynikłego z tego ograniczenia przepływu ciepła przez wypełnioną powietrzem lub gazem przestrzeń międzyszybową szyby zespolonej. Jest to cecha bardzo istotna w okresie grzewczym, gdyż wpływa na zmniejszenie nakładów poniesionych na ogrzewanie oraz podnosi komfort cieplny.

Emisyjność stanowi właściwość powierzchni – konieczną do ilościowego określenia wymiany ciepła przez promieniowanie z otoczeniem w danej temperaturze. W przypadku szyb zespolonych, emisyjność obu powierzchni zwróconych w kierunku przestrzeni międzyszybowej, wypełnionej powietrzem lub odpowiednim gazem, ma wpływ na przewodność cieplną, a dzięki temu na wartość współczynnika przenikania ciepła  $U$  [4].

#### **6.3.2. Szyby zespolone przeciwsłoneczne**

Z uwagi na stosowanie szyb zespolonych jako zewnętrznych przegród o dużych powierzchniach, pomieszczenia, zwłaszcza biurowców, narażone są na zbyt intensywne działanie promieni słonecznych.

Wysoka przepuszczalność szkła może prowadzić do przegrzewania wnętrza. Zastosowanie w szybie zespolonej szkieł o działaniu przeciwsłonecznym, stanowi skuteczną ochronę przed nadmiernym ogrzewaniem pomieszczeń promieniami słonecznymi. Jest to możliwe dzięki zachodzącym procesom absorpcji lub odbicia promieni słonecznych.

Właściwości przeciwsłoneczne i ograniczenie jaskrawości światła, przepuszczanego przez szkło z tego rodzaju powłokami, wynikają ze zwiększonego odbicia i (lub) absorpcji promieniowania z zakresu widzialnego i bliskiej podczerwieni. Efekt przeciwsłoneczny może być wzmocniony przez zastosowanie szkła absorpcyjnego barwnego jako podłoża [4].

W szybach zespolonych przeciwsłonecznych stosowane jest szkło absorpcyjne lub refleksyjne.

Szkło absorpcyjne jest szkłem barwionym w masie podczas procesu topienia. Pochłaniając promieniowanie słoneczne i widzialne, ogranicza przedostawanie się promieniowania słonecznego do pomieszczeń i zapobiega ich nadmiernemu nagrzewaniu się. Szkło tego rodzaju powoduje jednak pogorszenie warunków świetlnych we wnętrzu w porównaniu ze szkłem bezbarwnym.

Szkło refleksyjne powstaje w wyniku naniesienia powłoki refleksyjnej na powierzchnię szkła. Powłoka umieszczana jest na szkłe podczas jego produkcji. Charakteryzuje się ono zdolnością odbijania światła widzialnego oraz promieniowania słonecznego. Dzięki temu zredukowana zostaje ilość ciepła przedostającego się do budynku, co zapobiega jego przegrzewaniu.

W celu zapewnienia ochrony cieplnej oraz ochrony przed promieniowaniem słonecznym produkowane są szyby zespolone ze szkłem refleksyjnym i szkłem niskoemisyjnym.

Szkło selektywne łączy cechy szkła niskoemisyjnego i refleksyjnego. Jest przezroczyste, bezbarwne lub barwione w masie, wielokrotnie powlekane. Charakteryzuje się redukcją przenikania przez nie energii słonecznej i dzięki temu ogranicza nagrzewanie się pomieszczeń, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej przepuszczalności światła słonecznego i ciepłochronności. Utrzymana jest również neutralność kolorystyczna.

#### **6.4. Szyby zespolone próżniowe – produkcja przyszłości**

Można śmiało powiedzieć, że szyby zespolone próżniowe VIG (*Vacuum Isolating Glazing*) stanowią produkt przyszłości w zakresie szklanych przegród. Co prawda, historia powstania pierwszych szyb tego typu sięga 1913 roku, kiedy po raz pierwszy została opatentowana teoria szkła próżniowego. Długo jednak nie udawało się opracować technologii jego produkcji. Pierwsza satysfakcjonująca próba odbyła się na Uniwersytecie w Sydney w 1989 roku [5].

Kolejny przełom w produkcji VIG nastąpił w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia. Różne zespoły złożone z naukowców i znaczących producentów szkła prowadziły prace i badania, które miały na celu opracowanie technologii produkcji szyb zespolonych próżniowych.

Podczas gdy na początku XXI wieku w krajach Europy prowadzone były dalsze prace nad badaniami lub próby wdrożeniowe, w krajach Ameryki Północnej, w Chinach i w Japonii rozpoczęto produkcję szyb VIG.

Na pewno jedną z przyczyn takiej sytuacji są bardzo wysokie wymagania jakości i trwałości, które przyjęły kraje UE w zakresie oceny szyb izolacyjnych IG (*Isolating Glazing*). Są to złożone procedury kontroli odbioru szyb IG, wymagania, a także potrzeba zapewnienia całkowitego bezpieczeństwa w trakcie produkcji i użytkowania [6].

##### **6.4.1. Budowa szkła próżniowego**

Szkło próżniowe (*Vacuum Insulated Glass, VIG*) składa się z dwóch szyb o grubości 3 mm lub 4 mm, oddzielonych przestrzenią międzyszybową (próżnią) o szerokości 0,2-0,7 mm oraz z materiału zespalającego.



Rys. 6.1. Budowa szyby zespolonej w technologii vacuum [6]

Najważniejszym celem, jaki ma być osiągnięty w produkcji szyb zespolonych nowej generacji, jest wykorzystanie w nich próżni w szczelinie między dwoma szybami.

##### **6.4.2. Wady i zalety szyb próżniowych**

Szyby próżniowe, tak jak każdy wyrób oszklenia, mają zarówno zalety, jak i wady.

Do zalet należy zaliczyć:

- dobrą izolacyjność termiczną,
- ograniczoną grubość stosowanych szyb (4 mm, a nawet 3 mm),
- mniejszą grubość całego pakietu,

- mniejszy ciężar pakietu,
- zastosowanie w nowym budownictwie oraz podczas modernizacji obiektów zabytkowych,
- oszczędność materiałów,
- brak konieczności stosowania gazów szlachetnych.

Wśród wymienionych zalet szkła próżniowego najbardziej istotna jest jego korzystnie zwiększona izolacyjność cieplna. Szkło próżniowe o grubości odpowiadającej 1/4 grubości powszechnie stosowanych szyb zespolonych zapewnia taką samą izolacyjność cieplną jak te właśnie szyby. Z tego względu VIG szczególnie nadaje się do zastosowania wtedy, gdy projektantowi zależy na efekcie cienkiego i lekkiego przeszkleń, które gwarantuje dobrą izolację termiczną. Szkło takie znajduje także zastosowanie podczas modernizacji budynków historycznych. Cienkie szyby w zabytkowych oknach można wymienić na szyby podobnej grubości wykonane w technologii *vacuum*. Dzięki temu zapewnia się prawidłową, czyli lepszą niż dotychczas, izolacyjność pomieszczeń oraz utrzymuje istniejący komfort cieplny. Za sprawą specjalnej technologii próżniowej oraz technologii powlekania metali udało się ograniczyć warstwę próżni do 0,2 mm. Szyba próżniowa o grubości ok. 6,2 mm daje taką izolacyjność ciepła, że aby zapewnić identyczną izolację, szyba zespolona musiałaby mieć grubość 24 mm. Zastosowanie szyb próżniowych pozwala więc na dużą oszczędność energii i z tego względu takie przeszkleń świetnie nadaje się do budowy domów jedno- i wielorodzinnych oraz do ich modernizacji.

Wśród wad szyb próżniowych należy wymienić:

- stosowanie elementów dystansowych (rozporowych) w przestrzeni międzyszybowej, które zakłócają obraz oglądany w świetle przechodzącym,
- zespolenie krawędzi szyb listwami metalowymi, które sprawiają, iż izolacyjność termiczna szyby w tym obszarze nie dorównuje izolacyjności części środkowej szyby,
- brak odpowiednich ram okiennych do osadzenia szyb VIG (wymagane są ramy o wysokiej izolacyjności termicznej).

Główne trudności przy opracowywaniu konstrukcji szyb VIG i metod ich wytwarzania wiążą się przede wszystkim

- ze sposobem osiągnięcia stanu próżni (*vacuum*) w przestrzeni międzyszybowej,
- ze sposobem zamykania przestrzeni międzyszybowej (rodzaj materiału, temperatura),
- z doбором elementów dystansowych.

Aby osiągnąć rezultat, czyli produkt wytwarzany metodami przemysłowymi, gotowy do sprzedaży, różne kraje stosowały odmienne metody. Obecnie można wyróżnić główne dwa sposoby wytwarzania i uzyskiwania pustki powietrznej w przestrzeni międzykomorowej:

- zespalanie tafli szkła w szybę VIG w komorze próżniowej,
- odprowadzanie powietrza z przestrzeni międzyszybowej przez odpompowywanie z zespolonej szyby IG [6].

Założenia techniczne zmuszają do tego, aby resztkowe ciśnienie powietrza w komorze międzyszybowej było nie mniejsze niż 0,001 hPa i aby w warunkach temperaturowych od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+60^{\circ}\text{C}$  pozostawało stabilne przez ponad 25 lat. Jednak, pomimo wymagania niemal całkowitej szczelności zespolenia, niezbędna jest także pewna jego minimalna elastyczność. Pozwala ona eliminować powstawanie naprężeń na obrzeżach w eksploatacji szyb poddawanych oddziaływaniu zmiennych temperatur i obciążeniom mechanicznym. Tym samym zmniejsza się zagrożenie pęknięcia szyby.

#### 6.4.3. Materiały zespalające

W badaniach – jako teoretycznie możliwe – pojawiły się trzy sposoby łączenia obrzeży szyb VIG:

- lutowanie obrzeży metalami,
- stapianie i łączenie krawędzi szkła w wysokiej temperaturze,
- łączenie tworzywami polimerowymi.

Obecnie stosuje się dwie pierwsze metody. Głównie w krajach Dalekiego Wschodu, choć nie tylko, wykorzystuje się jako materiał zespalający szkło. Jednak stosowana wtedy obróbka termiczna wymaga temperatury ponad  $300^{\circ}\text{C}$ , a taka jej wysokość jest niszcząca dla tzw. miękkich powłok niskoemisyjnych. Wymaga to użycia podczas produkcji szyb z powłokami twardymi, co skutkuje znacząco wyższym współczynnikiem przenikania ciepła takiej szyby – wynosi on 1,1-1,3  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

W rozwiązaniach europejskich przygotowanych do szybkiego, praktycznego wdrożenia stosowane są połączenia krawędzi szyb metalami, głównie w postaci taśm. Badano także połączenia mieszane – uszczelnienia tworzywami i zamknięte taśmą metalową. Kontynuuje się próby zastosowania do łączenia

obrzeży polimerowych materiałów uszczelniających, co pozwoliłoby na obniżenie temperatury produkcji szyb, a tym samym na stosowanie szyb z powłokami niskoemisyjnymi, klejonymi itd.

W czasie eksploatacji wzrastają naprężenia na obrzeżach większych wymiarowo szyb VIG, które podlegają znacznym różnicom temperaturowym – zewnętrznym i wewnętrznym. Zwiększa to ryzyko pęknięć i niszczenia szyb. Stosowanie do łączenia obrzeży cienkich folii metalowych lub podwójnego uszczelnienia (tworzywo i folia metalowa) pozwala zmniejszyć to zagrożenie. W metodzie ProVIG opracowanej w Niemczech, jako najkorzystniejszy sposób zespalania przy użyciu taśm metalowych, przyjęto łączoną technologię ultradźwięków i lasera. Ta technologia dopuszcza stosowanie szyb niskoemisyjnych (Low E) z powłokami miękkimi i w efekcie końcowym uzyskuje się szyby o  $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (docelowo  $U_g = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) [6].

#### 6.4.4. Elementy dystansowe

Podczas prac badawczych prowadzonych m.in. przez Bavarian Center for Applied Energy Research podejmowano próby stosowania jako elementów dystansowych, rozmieszczonych równomiernie w całej przestrzeni międzyszybowej, bardzo drobnych kształtek metalowych, szklanych i innych, oraz używano różnych ich rozstawów (odstępów oczek siatki 25 mm lub 50 mm). Wykorzystywane obecnie kształtki mają formy cylindryczne i średnicę rzędu 0,5 mm. Wpływ rodzaju materiałów elementów dystansowych na rozkład temperatur powierzchniowych szyb i na ich izolacyjność termiczną oceniony został jako nieznaczny ze względu na ich małe wymiary [6].

Obecnie na rynku szyb zespolonych dostępne jest pierwsze na świecie komercyjne szkło próżniowe o nazwie *Pilkington Spacia* opracowane przez Nippon Sheet Glass Co. Ltd. Podstawowa szyba tego typu zbudowana jest z dwóch warstw szkła *float*, pomiędzy którymi znajdują się elementy dystansujące oraz pustka o szerokości 0,2 mm. Łączna grubość szyby podstawowej *Pilkington Spacia* wynosi 6,2 mm. Izolacyjność przegrody szklanej o grubości jednej szyby jest lepsza niż szyby zespolonej i cztery razy lepsza niż pojedynczej szyby. Szkło próżniowe *Pilkington Spacia* może znaleźć zastosowanie w obiektach, w których potrzebne są cienkie i lekkie przeszklenia, np. przesuwne okna, dodatkowe przeszklenia itp. Szyby tego typu charakteryzują się także niższym stopniem skraplania wewnętrznego w porównaniu ze szkłem jednowarstwowym.

*Pilkington Spacia* składa się z dwóch szyb – zewnętrznej, ze szkła o niskiej emisyjności, oraz wewnętrznej, ze szkła przezroczystego *float*. Są one oddzielone geometrycznie ułożonymi, w równych 20-milimetrowych odległościach, elementami dystansującymi (*microspacer*) o średnicy 0,5 mm [5].

Elementy dystansujące mają na celu utrzymanie stałej szczeliny międzyszybowej. Brzegi szyb są zgrzewane hermetycznie. Powietrze wydostaje się poprzez punkt ekstrakcyjny, który jest przykryty zabezpieczającym kapsłem. Cechą charakterystyczną technologii szkła próżniowego jest to, że pustka wewnętrzna pomiędzy szybami zapobiega przewodnictwu cieplnemu i konwekcji oraz obniża promieniowanie ciepłe [5].

Szkło próżniowe *Pilkington Spacia* produkowane jest w różnych odmianach. Na przykład *Pilkington Spacia 21* jest szkłem o podwyższonej izolacyjności cieplnej, budowie hybrydowej i dużej izolacyjności termicznej. Szyby potrójne tego typu produkowane są w dwóch grubościach – 18,2 mm i 21,2 mm.

Szyba zespolona *Spacia 21*® zbudowana jest ze szkła próżniowego *Pilkington Spacia*™ (6,2 mm), szkła niskoemisyjnego (3 mm) oraz przestrzeni pomiędzy nimi wypełnionej argonem. Współczynnik  $U$  tej szyby wynosi  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Wspomaga ona również chłodzenie pomieszczeń, jest wytrzymała na wiatr, a dodatkowo redukuje promieniowanie ultrafioletowe i nie zaparowuje.

#### 6.5. Podsumowanie

Szyby zespolone są bardzo ważnym wyrobem wpływającym na parametry cieplne budynku. Z tego względu cały czas trwają prace rozwojowe udoskonalające wyroby zdolne spełnić coraz ostrzejsze wymagania pasywnego budownictwa.

Pomimo dużego postępu, dużą popularnością w budownictwie cieszą się w dalszym ciągu „tradycyjne” szyby zespolone. Przyszłością tej dziedziny gospodarki są szyby zespolone próżniowe, których produkcja nabiera tempa głównie w krajach Dalekiego Wschodu.

Należy się spodziewać, że niebawem rozpocznie się w Polsce produkcja szyb zespolonych próżniowych. Jest to kolejne wyzwanie dla krajowych producentów tego typu szyb, które czeka ich w najbliższym czasie.

#### LITERATURA:

- [1] PN-EN 1279-1:2006 PN-EN 1279-1:2006/AC *Szkło w budownictwie. Szyby zespolone izolacyjne. Część 1: Wymagania ogólne, tolerancje wymiarowe oraz zasady opisu systemu.*
- [2] PN-EN 674: 2011 *Szkło w budownictwie. Określenie współczynnika przenikania ciepła „U”. Metoda osłoniętej płyty grzejnej.*
- [3] PN-EN 673: 2011 *Szkło w budownictwie. Określenie współczynnika przenikania ciepła „U”. Metoda obliczeniowa.*
- [4] E. Żelazowska, *Emisyjność a szkła powlekane niskoemisyjne, część 1*, „Świat Szkła” 2013, nr 6, s. 22-26.
- [5] E. M. Kido, Z. Cywiński, *O nowych gatunkach szkła w Japonii, część 3*, „Świat Szkła” 2015, nr 5, s. 44-49.
- [6] M. Makarewicz, *Technologia vacuum w wyrobach budowlanych VIS, VIP, VIG*, „Świat Szkła” 2008, nr 7-8, s 58-60.